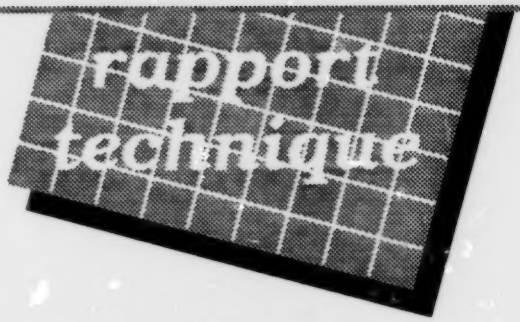

ESTIMATION DU TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA MORT À PARTIR DE LA TEMPÉRATURE DU QUARTIER ARRIÈRE, CHEZ LE CERF DE VIRGINIE ET L'ORIGNAL

par

Jean Tremblay
Gaétan Daigle
Robert Claveau
Jean A. Robitaille

Juillet 1990

Québec

Direction de la gestion des espèces et des habitats

ESTIMATION DU TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA MORT À PARTIR DE LA TEMPÉRATURE DU QUARTIER ARRIÈRE, CHEZ LE CERF DE VIRGINIE ET L'ORIGNAL

par

Jean Tremblay

Gaétan Daigle [1]

Robert Claveau [2]

Jean A. Robitaille [3]

Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche

Québec, juillet 1990

---

[1] Centre de consultation statistique, Université Laval, Québec G1K 7P4

[2] Direction de la santé animale, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Rimouski

[3] Bureau d'écologie appliquée, C.P. 2152, Saint-Romuald G6W 5M5

91-04428/

Référence à citer:

TREMBLAY, J., G. DAIGLE, R. CLAVEAU et J.A. ROBITAILLE. 1990. Estimation du temps écoulé depuis la mort à partir de la température du quartier arrière, chez le Cerf de Virginie et l'Orignal. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction de la gestion des espèces et des habitats. Rapp. tech. 21 p.

Dépôt légal
Bibliothèque Nationale du Québec
3e trimestre 1990
ISBN 2-550-20867-6

RÉSUMÉ

Ce document décrit la mise au point d'une technique permettant de calculer l'heure de la mort d'un Cerf de Virginie ou d'un Orignal à partir de la température du quartier arrière. Des données expérimentales, recueillies entre 1972 et 1988 sur les carcasses de 3687 Cerfs et de 5139 Orignaux ont servi à déterminer, par les techniques statistiques de la régression polynomiale, l'équation décrivant le mieux la relation entre la température du quartier arrière et le temps écoulé depuis la mort. Cette équation sert ensuite à calculer, à partir de la température prise sur une carcasse donnée, le temps passé depuis la mort de l'animal et les limites de l'intervalle de confiance entourant cette estimation. Il est aussi possible de déterminer quelle probabilité est associée à l'hypothèse qu'un animal ait été abattu en dehors des heures où la chasse était permise. De façon générale, le recours à cette technique d'estimation de l'heure de la mort devrait se limiter aux cas où la température mesurée se situe entre 2 et 43.3 °C . Enfin, il demeure toujours nécessaire de juger si l'estimation peut avoir été biaisée par des conditions exceptionnelles auxquelles aurait été exposée une carcasse.

TABLE DES MATIERES

Page

RÉSUMÉ iii
TABLE DES MATIERES v
LISTE DES TABLEAUX vii
LISTE DES FIGURES ix

1. INTRODUCTION 1
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES 5
3. RÉSULTATS 7
   3.1. Traitement des données, choix et ajustement du modèle 7
   3.2 Utilisation du modèle 12
      3.2.1. Estimation de l'heure de la mort 12
      3.2.2. Intervalle de confiance entourant l'estimation de l'heure de la mort 12
      3.2.3. Probabilité qu'un animal soit mort avant ou après une heure donnée 13
4. DISCUSSION 16
REMERCIEMENTS 18
LISTE DES RÉFÉRENCES 19

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1 Liste des symboles utilisés 6

Tableau 2 Composition des données expérimentales utilisées pour le choix et l'ajustement du modèle 8

Tableau 3 Ajustement du modèle aux données expérimentales par la régression polynomiale 10

Tableau 4 Température du quartier arrière en fonction du temps écoulé depuis la mort 11

Tableau 5 Valeur estimée du temps écoulé depuis la mort selon la température du quartier arrière 14

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 Valeur estimée du temps écoulé depuis la mort, selon la température du quartier arrière 15

1. INTRODUCTION

Au Québec, le Cerf de Virginie (Odocoileus virginianus) et l'Orignal (Alces alces) sont en général soumis à une forte pression de chasse, qui a des répercussions sur la structure et les effectifs de leurs populations. Le principal contrôle de ces prélèvements s'exerce par la réglementation, qui vise, d'une part, à éviter la surexploitation et, d'autre part, à favoriser une récolte ordonnée, dans des conditions équitables pour tous les chasseurs. L'enregistrement obligatoire des bêtes abattues a été instauré pour permettre un suivi de la récolte, tout en incitant les sportifs au respect des règlements.

Une opinion généralement acceptée dans le milieu veut que les bêtes abattues illégalement constituent une fraction importante de la récolte totale, ce que tend à démontrer une enquête réalisée dans l'Outaouais (Tremblay 1982). Or, une bonne partie du braconnage est difficile à réprimer parce qu'elle s'exerce d'une façon diffuse, concurremment à la chasse légale; on sait, entre autres, que plusieurs animaux sont tués avant l'ouverture officielle de la chasse ou pendant la nuit, et que les chasseurs peuvent ensuite les ramener chez eux aux dates et aux heures autorisées. Bien que ces bêtes soient comptées dans l'évaluation de la récolte totale, la possibilité d'agir de la sorte constitue une injustice à l'endroit des chasseurs respectueux des règlements.

Les agents de conservation de la faune et les préposés aux stations d'enregistrement du gros gibier ont parfois à examiner des bêtes qu'ils soupçonnent d'avoir été abattues en dehors des heures de chasse légale. Le développement de techniques de détermination de l'heure de la mort serait d'une grande utilité dans ces cas.

Plusieurs méthodes pour estimer l'heure de la mort, chez l'homme, ont été mises aux point par les médecins légistes. Les revues de la documentation scientifique sur ce sujet mettent en évidence le consensus établi chez ces praticiens, selon lequel les déterminations

les plus fiables soient obtenues à partir des mesures de plusieurs variables et en tenant compte des conditions auxquelles a été exposé le corps (Coe 1974; Van Den Oever 1976); on peut, dans certaines circonstances, établir le moment du décès avec une erreur de moins d'une heure.

A partir du milieu des années soixante, des chercheurs ont adapté et mis à l'essai des techniques de détermination de l'heure de la mort, inspirées de la médecine légale, pour la surveillance de la chasse au gros gibier (Gill et O'Meara 1965).

Toutes ces techniques émanent du principe que des changements commencent à se produire dans le corps d'un animal à partir du moment de sa mort. Pour développer et mettre au point une telle méthode, on recueille d'abord un ensemble de données expérimentales qui permettent de décrire statistiquement la relation entre la valeur d'une variable mesurée sur l'animal (par exemple, sa température) et l'intervalle de temps écoulé depuis sa mort. On utilise ensuite l'équation décrivant cette relation pour estimer, à partir d'une mesure de cette variable prise sur une carcasse, le temps écoulé depuis la mort.

Plusieurs variables se prêtent à l'évaluation du temps écoulé depuis la mort: température corporelle, rigidité des articulations, diamètre médian de la pupille, concentration de glucose, de calcium et de potassium de l'humeur vitrée, ou intensité de la contraction d'un muscle soumis à un courant électrique (Oates et al. 1984).

La température corporelle offre cependant les possibilités les plus intéressantes de développement d'une technique fiable et commode, pour plusieurs raisons. La mesure de cette variable est simple et rapide. Elle ne demande pas de matériel sophistiqué ni d'analyse en laboratoire et les mesures peuvent être interprétées sur le champ. Parmi les organes et les tissus dont on peut mesurer la température, le quartier arrière présente l'avantage d'offrir une grosse masse

musculaire, qui perd sa chaleur à un rythme assez lent, relativement indépendant des ccnditions ambiantes.

Les biologistes qui travaillent au développement de ces techniques de surveillance se sont d'abord efforcés de calculer l'intervalle exact de temps écoulé depuis la mort de l'animal. Cependant, à partir du début des années 1980, ils ont aussi cherché à déterminer l'intervalle de confiance qui entoure cette estimation ponctuelle (Johnson et al. 1980; Karns et Keer 1980; Woolf et Gremillion-Smith 1983; Woolf et al. 1983; Oates et al. 1984; Kienzler et al. 1984). L'intérêt de cette information réside surtout dans l'utilisation à des fins légales d'une détermination de l'heure de la mort, comme preuve d'un délit; on peut, avec ce renseignement supplémentaire, évaluer les chances de faire erreur en affirmant qu'un animal a été abattu illégalement.

Au Québec, les premiers travaux exploratoires sur la détermination de l'heure de la mort ont été réalisés sur l'Orignal, dans le Bas Saint-Laurent et en Abitibi-Témiscamingue (Claveau 1979; Brassard 1979, 1981). Ces analyses faisaient ressortir clairement que, parmi un certain nombre de variables mises à l'essai, la température du quartier arrière était la plus fiable pour évaluer l'heure de la mort. Cependant, le traitement des données se limitait à une description générale des tendances et on ne proposait aucune équation pour décrire la baisse de la température en fonction du temps.

Deux études subséquentes ont permis de développer des modèles décrivant le refroidissement du quartier arrière chez le Cerf et l'Orignal (Boulet et al. 1983; Tremblay et al. 1986). Dans les deux cas, on faisait appel aux techniques statistiques de la régression linéaire multiple; le temps écoulé depuis la mort était considéré comme variable dépendante et la température du quartier arrière, comme principale variable indépendante. Quelques essais visant à ajouter la température ambiante comme seconde variable indépendante n'ont pas permis d'augmenter de façon perceptible la part de la

variance expliquée par la régression. Par contre, dans le cas de l'orignal, une autre variable secondaire améliorait l'ajustement: le mode de transport de l'animal, à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule (Boulet et al. 1983), ou l'état de la carcasse, entière ou en quartiers (Tremblay et al. 1986).

Cette approche présentait toutefois une lacune, car la variance des résidus, autour de la régression, n'était pas homogène. Elle tendait à s'accroître lorsque la mort d'un animal remontait à plusieurs heures, ce qui rendait alors impossible l'évaluation de limites de l'intervalle de confiance. Le recours à la régression multiple pondérée, proposé par Tremblay et al. (1986), permettait de corriger l'hétérogénéité des variances. Cependant, l'évaluation des intervalles de confiance demeurait là encore entachée d'un biais statistique.

Ce rapport propose une solution à ce dernier inconvénient. On y utilise l'ensemble des données expérimentales accumulées en cours de réalisation de ce projet pour déterminer quel modèle décrit le mieux la relation entre la température du quartier arrière et le temps écoulé depuis la mort. On y explique ensuite de quelle façon ce modèle, une fois ajusté aux données expérimentales, permet l'estimation du temps écoulé depuis la mort de l'animal, la détermination des limites de l'intervalle de confiance entourant cette estimation et le calcul de la probabilité qu'un animal ait été abattu en dehors des heures de chasse légale.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données utilisées pour cette analyse proviennent du regroupement de plusieurs ensembles recueillis à diverses stations d'enregistrement du gros gibier entre 1972 et 1988; certains de ces ensembles ont déjà fait l'objet d'analyses dont les résultats ont été présentés dans des rapports précédents (Brassard 1979, 1981; Claveau 1979; Boulet et al. 1983; Tremblay et al. 1986). Pour augmenter la taille des échantillons, on a fait appel, en 1987 et 1988, au personnel des stations d'enregistrement du gros gibier pour la prise de données. Cette tâche était alors confiée à un personnel bien informé, qui conservait une copie du protocole expérimental. Les données concernant chaque spécimen étaient inscrites sur la fiche d'enregistrement du gros gibier ou, dans certaines stations, saisies immédiatement sur ordinateur.

L'heure de la mort était obtenue en questionnant les chasseurs. Pour un ensemble de données prises sur le territoire de la réserve faunique de Matane entre 1974 et 1977, un guide devait obligatoirement accompagner chaque groupe de chasseurs. Dans le cas de bêtes abattues à cet endroit, c'était le guide qui fournissait l'information quant à l'heure de la mort. Aux stations couvrant les territoires d'accès public, on demandait aux chasseurs l'heure à laquelle ils avaient tué l'animal dès leur arrivée, avant qu'ils ne voient le thermomètre. Si les renseignements fournis semblaient douteux, la fiche de données portait, jusqu'en 1986, une indication permettant d'exclure ces valeurs au moment de l'analyse. A partir de 1987, l'élimination des données aberrantes s'effectuait seulement par une technique de filtrage statistique expliquée plus loin.

Pour chaque spécimen, la valeur retenue comme température du quartier arrière (Q) était la plus élevée de trois mesures consécutives, prises avec un thermomètre métallique à cadran, dans la partie centrale de la masse musculaire. Les thermomètres utilisés étaient gradués en degrés Fahrenheit ou Celsius, mais leur précision

était du même ordre (± 0.5 °C ou ± 1.0 °F). Les mesures prises en degrés Fahrenheit ont été converties en degrés Celsius pour l'analyse. Le protocole expérimental comprenait une calibration quotidienne des thermomètres.

Les valeurs de trois variables auxiliaires ont été aussi inscrites sur les fiches. Ces variables, toutes trois binaires, sont le sexe, le groupe d'âge (juvénile ou adulte) et l'état de la carcasse (entière ou en quartier).

Le traitement des données a été effectué par le Service de Consultation Statistique de l'Université Laval (Daigle 1989), à l'aide du progiciel SAS. Le cheminement des traitements statistiques, puisqu'il dépend des propriétés des données, est présenté à la section Résultats.

L'écriture des équations fait appel aux symboles et aux conventions habituels, dans le domaine de la statistique. Les variables et paramètres propres au sujet d'étude sont présentés au tableau 1.

Tableau 1. Liste des symboles utilisés.

Q :	température du quartier arrière de l'animal.
t_o :	heure à laquelle est mesurée la température du quartier arrière de l'animal.
t_0 :	heure de la mort de l'animal.
$T = t_o - t_0$:	intervalle de temps écoulé entre la mort de l'animal et la prise de température du quartier arrière.
t_L :	heure limite que l'on doit comparer à l'heure de la mort de l'animal; le plus souvent, il s'agira de l'heure légale du début ou de la fin d'une période où la chasse est permise.
$L = t_L - t_o$:	intervalle de temps écoulé entre une heure limite et la prise de température du quartier arrière.
A, B, C, D :	paramètres de la courbe de régression, déterminés par l'ajustement du modèle aux données.

3. RÉSULTATS

Les travaux antérieurs ont démontré que la température du quartier arrière était, parmi un certain nombre de variables mises à l'essai, celle qui était la mieux corrélée avec le temps écoulé depuis la mort (Claveau 1979; Boulet et al. 1983; Tremblay et al. 1986). L'analyse présentée ici s'intéresse donc au développement d'un modèle faisant surtout appel à cette variable; elle a cependant tenu compte de l'effet des variables auxiliaires *état*, *sexe* et *âge*.

3.1. Traitement des données, choix et ajustement du modèle

Un premier examen des données a été effectué afin d'identifier et de retrancher les données peu fiables. Celles-ci pouvaient résulter d'erreurs faites au moment de la transcription des informations sur les fiches ou de faux renseignements fournis par les chasseurs quant à l'heure de la mort. On a rejeté les fiches jugées douteuses à cet égard. Par ailleurs, on a exclu de l'analyse tous les animaux dont la mort remontait à plus de 35 heures.

Pour éliminer les données qui se trouvaient de façon évidente en dehors de la distribution de l'ensemble des points, on a fait appel à une procédure statistique robuste, basée sur la médiane des déviations absolues (Huber 1981); on a rejeté toutes les fiches sur lesquelles la température indiquée se trouvait à plus de trois écarts-types de cette médiane. A lui seul, ce filtrage des données a soustrait à l'analyse les fiches de 94 cerfs et de 128 orignaux.

Le tableau 2 décrit sommairement la composition des données expérimentales conservées pour la mise au point du modèle, en fonction des variables considérées ici, c'est-à-dire la température du quartier arrière, l'heure de la mort, le sexe de l'animal, son âge et l'état de sa carcasse.

Tableau 2. Composition des données expérimentales utilisées pour le choix et l'ajustement du modèle.

Espèce	Cerf de Virginie	Orignal
Taille des échantillons (T et Q connus)	3687	5139
Taille des sous-échantillons, selon la variable		
Sexe (mâle : femelle)	3687 (2791: 896)	5133 (2689 : 2444)
Age (adulte : juvénile)	3626 (3243 : 383)	5043 (4307 : 736)
Etat de la carcasse (entière : en quartiers)	2958 (2945 : 13)	4908 (1861 : 3047)

L'étape suivante a été de choisir un modèle mathématique qui correspondait au phénomène mesuré et décrivait bien la répartition des données expérimentales. La distribution des points sur le graphique étant rendu difficile à interpréter par leur grand nombre, on a regroupé les valeurs de temps écoulé depuis la mort selon 35 classes d'une heure. La moyenne des températures observées chez les animaux de chacune des classes a ensuite été portée en graphique, en fonction du temps.

L'allure de la courbe suggérait une décroissance exponentielle. On a donc opté d'abord pour le modèle suivant:

$$Q = Ae^{(B(T/24) + C(T/24)^2 + D(T/24)^3)} + \varepsilon \qquad \text{(équation 1)}$$

...où Q : température du quartier arrière (°C);
T : nombre d'heures écoulées depuis la mort de l'animal;
A, B, C et D : paramètres de la courbe;
e : base des logarithmes naturels (2.71828...);
ε : terme représentant l'erreur statistique.

Ce modèle est assez semblable à celui proposé par Kienzler et al. (1984), la seule différence étant qu'il ne fait pas appel à la température ambiante. Cette équation décrit mathématiquement une décroissance exponentielle, qui correspond bien au phénomène auquel on s'intéresse ici: la déperdition graduelle de chaleur de la masse musculaire qui tend vers la température ambiante à partir d'une température initiale qui devrait être celle de l'animal vivant, soit environ 38.8 °C.

Il est possible d'ajuster ce modèle aux données en donnant au paramètre A la valeur de la température de l'animal vivant (38.8 °C). Dans ce cas, au temps de l'abattage t_0 , $T = t_Q - t_0 = 0$ et l'équation devient:

$$Q = Ae + \varepsilon \qquad \text{(équation 2)}$$

On a cependant choisi de déterminer statistiquement la valeur de A, à partir des données expérimentales.

La division par 24 de la variable T, dans l'équation 1, est un artifice de calcul destiné à éviter que les coefficients de régression estimés ne soient trop petits; il permet du même coup de minimiser l'effet des erreurs d'arrondissement sur les tests de signification auxquels on soumet ces paramètres.

Le modèle de l'équation 1 présente toutefois l'inconvénient de ne pas pouvoir être rendu linéaire par une simple transformation parce que l'erreur y est considérée additive. Un essai a donc été fait avec le modèle suivant, dont le terme d'erreur est multiplicatif:

$$Q = \varepsilon\, Ae^{(B(T/24) + C(T/24)^2 + D(T/24)^3)} \qquad \text{(équation 3)}$$

Des essais d'ajustements des données à ce modèle, rendu linéaire par une transformation logarithmique, ont cependant été infructueux parce que la variance des résidus n'était pas homogène.

Il a donc été nécessaire de revenir au modèle de l'équation 1, qui a été ajusté aux données expérimentales en faisant appel aux techniques de régression polynomiale. Les paramètres de l'équation (tableau 3) ont été estimés par la méthode de Gauss-Newton (Neter et al. 1985). L'analyse des résidus a permis de vérifier que leur distribution répondait bien aux conditions du modèle de régression.

Quelques essais faisant intervenir les variables auxiliaires (*sexe*, *âge* et *état*) n'ont pas permis d'améliorer de façon significative

l'ajustement du modèle aux données. En pratique, il est donc préférable d'employer un modèle basé sur une seule variable indépendante, la température du quartier arrière.

Le tableau 4 permet de comparer les valeurs observées et calculées de température pour chacune des classes de temps écoulé depuis la mort, pour les deux espèces (Cerf de Virginie et Orignal).

Tableau 3. Ajustement du modèle aux données expérimentales par la régression polynomiale.

Cerf de Virginie

Source	Degrés de liberté	Sommes des carrés	Carrés moyens
Régression	4	2017228.16	504307.0389
Résidus	3683	73534.78	19.9660
Total	3687	2090762.94	
Total, avec correction pour la moyenne	3686	442131.97	

Paramètre	Estimation	Ecart-type
A	38.1825	0.3994
B	-1.0278	0.0860
C	-1.2619	0.1740
D	0.9335	0.0952

Orignal

Source	Degrés de liberté	Sommes des carrés	Carrés moyens
Régression	4	2142649.58	535662.3955
Résidus	5135	90720.76	17.6671
Total	5139	2233370.34	
Total, avec correction pour la moyenne	5138	391543.23	

Paramètre	Estimation	Ecart-type
A	36.6938	0.5908
B	-0.5885	0.0933
C	-0.9940	0.1479
D	0.5884	0.0685

Tableau 4. Température du quartier arrière (Q) en fonction du temps écoulé depuis la mort (T). Q_R : moyenne des valeurs réelles; Q_E : valeur calculée avec le modèle; $\Delta Q = Q_R - Q_E$: écart.

T		Cerf de Virginie			Orignal		
Limites des classes		Q_R	Q_E	ΔQ	Q_R	Q_E	ΔQ
0:00	0:59	36.07	37.00	-0.93	37.00	38.21	-1.21
1:00	1:59	35.32	35.44	-0.12	35.15	36.93	-1.78
2:00	2:59	34.17	33.76	0.41	37.14	35.84	1.30
3:00	3:59	32.20	32.02	0.18	34.70	34.76	-0.06
4:00	4:59	29.82	30.24	-0.42	33.69	33.51	0.18
5:00	5:59	28.32	28.44	-0.12	31.81	32.27	-0.46
6:00	6:59	26.64	26.80	-0.16	30.97	30.98	-0.01
7:00	7:59	24.82	25.12	-0.30	29.37	29.73	-0.36
8:00	8:59	24.01	23.60	0.41	28.61	28.48	0.13
9:00	9:59	22.81	22.13	0.68	28.09	27.23	0.86
10:00	10:59	20.88	20.78	0.10	26.22	25.94	0.28
11:00	11:59	21.93	19.28	2.65	24.92	24.83	0.09
12:00	12:59	19.38	18.00	1.38	23.62	23.73	-0.11
13:00	13:59	18.52	16.85	1.67	27.79	22.35	5.44
14:00	14:59	N.D.	N.D.	N.D.	20.86	21.40	-0.54
15:00	15:59	12.46	14.89	-2.43	19.94	20.40	-0.46
16:00	16:59	11.00	13.92	-2.92	19.24	19.46	-0.22
17:00	17:59	12.56	13.17	-0.61	18.56	18.58	-0.02
18:00	18:59	12.31	12.49	-0.18	17.67	17.77	-0.10
19:00	19:59	11.81	11.88	-0.07	16.30	17.02	-0.72
20:00	20:59	10.46	11.28	-0.82	15.99	16.33	-0.34
21:00	21:59	10.89	10.82	0.07	15.78	15.68	0.10
22:00	22:59	9.90	10.36	-0.46	15.12	15.11	0.01
23:00	23:59	10.34	10.00	0.34	13.98	14.56	-0.58
24:00	24:59	9.97	9.69	0.28	14.77	14.06	0.71
25:00	25:59	9.52	9.45	0.07	13.89	13.65	0.24
26:00	26:59	9.66	9.26	0.40	13.55	13.27	0.28
27:00	27:59	9.86	9.15	0.71	12.99	12.94	0.05
28:00	28:59	9.46	9.09	0.37	12.24	12.68	-0.44
29:00	29:59	8.89	9.10	-0.21	12.80	12.46	0.34
30:00	30:59	8.54	9.18	-0.64	12.38	12.31	0.07
31:00	31:59	8.49	9.34	-0.85	12.16	12.20	-0.04
32:00	32:59	10.22	9.57	0.65	12.05	12.15	-0.10
33:00	33:59	10.07	9.89	0.18	11.53	12.16	-0.63
34:00	34:59	9.90	10.34	-0.44	12.67	12.22	0.45

3.2 Utilisation du modèle

3.2.1. Estimation de l'heure de la mort

Pour estimer l'heure de la mort à partir de la température mesurée (Q), on applique le principe de la régression inverse (Draper et Smith 1981). Connaissant la valeur mesurée de Q et celle, propre à l'espèce, de chacun des paramètres (A, B, C et D), on peut utiliser l'algorithme présenté par Selby (1967) pour trouver la valeur de T, telle que:

$$B(T/24) + C(T/24)^2 + D(T/24)^3 - \log (Q/A) = 0 \qquad \text{(équation 4)}$$

Cette utilisation de la régression, pour être valide, demande que l'on utilise des valeurs de Q qui se situent à l'intérieur des limites des données qui ont servi à l'ajustement du modèle, c'est-à-dire de 2 à 43.3 °C.

3.2.2. Intervalle de confiance entourant l'estimation de l'heure de la mort

Pour déterminer quelles sont les limites de l'intervalle de confiance, au niveau $(1 - \alpha)$, de part et d'autre de l'estimation ponctuelle de T, il faut solutionner les équations suivantes:

$$Q = A^{(B(T_I/24) + C(T_I/24)^2 + D(T_I/24)^3)} - \sigma Z_b (1- \alpha/2) \qquad \text{(éq. 5)}$$

$$Q = A^{(B(T_S/24) + C(T_S/24)^2 + D(T_S/24)^3)} + \sigma Z_b (1- \alpha/2) \qquad \text{(éq. 6)}$$

...où T_I et T_S = limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance, au niveau $(1 - \alpha)$

Z_b = est le $b^{ième}$ percentile d'une distribution normale réduite, $X \sim N(0,1)$, c'est-à-dire de moyenne égale à 0 et d'écart-type égal à 1;

A, B, C et D = paramètres de la courbe, propres à l'espèce;

σ = variance; dans ce cas-ci, on utilise l'estimateur (s), propre à l'espèce.

Le tableau 5 et la figure 1 présentent, pour les deux espèces, les estimations ponctuelles du temps écoulé depuis la mort de l'animal, calculées pour des valeurs entières de température du quartier arrière (Q) et les limites correspondantes de l'intervalle de confiance, au niveau de 95% ($\alpha = 0.05$).

3.2.3. Probabilité qu'un animal soit mort avant ou après une heure donnée

Les courbes de régression permettent de calculer la probabilité associée à l'hypothèse que la mort d'un animal soit survenue avant ou après une heure donnée, par exemple le début ou la fin d'une période de chasse.

Si on prend l'exemple d'un animal que l'on croit avoir été abattu avant l'ouverture de la chasse, il est possible d'estimer, à partir de la température du quartier arrière, la probabilité que cette hypothèse soit vraie, à un niveau de confiance déterminé. Cette probabilité se calcule comme suit:

$$p = 1 - P\{ X > Z_\alpha \}$$

...où $Z_\alpha = \left| \dfrac{Q - Ae^{(B(L/24) + C(L/24)^2 + D(L/24)^3)}}{\sigma} \right|$

X : variable normale réduite, $X \sim N(0,1)$

L = nombre d'heures écoulées entre l'ouverture légale de la chasse et la prise de température.

Tableau 5. Valeur estimée du temps écoulé depuis la mort (T) selon la température du quartier arrière (Q). T : estimation ponctuelle; T_I et T_S : limites inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance, au niveau de confiance de 95%; *: valeur impossible à déterminer.

	Cerf de Virginie			Orignal		
Q	T_I	T	T_S	T_I	T	T_S
38	*	**0:07**	5:06	*	**0:42**	7:29
37	*	**0:42**	5:40	*	**1:38**	8:16
36	*	**1:17**	6:15	*	**2:31**	9:03
35	*	**1:52**	6:51	*	**3:21**	9:52
34	*	**2:25**	7:27	*	**4:10**	10:41
33	*	**2:59**	8:05	*	**4:58**	11:32
32	*	**3:33**	8:44	*	**5:45**	12:24
31	*	**4:06**	9:24	*	**6:31**	13:18
30	*	**4:40**	10:05	0:28	**7:18**	14:14
29	0:15	**5:14**	10:49	1:25	**8:05**	15:14
28	0:51	**5:49**	11:34	2:19	**8:52**	16:17
27	1:26	**6:24**	12:22	3:10	**9:40**	17:25
26	2:00	**7:00**	13:14	3:59	**10:29**	18:38
25	2:34	**7:36**	14:09	4:46	**11:19**	19:58
24	3:07	**8:14**	15:09	5:34	**12:11**	21:29
23	3:41	**8:53**	16:15	6:20	**13:05**	23:14
22	4:14	**9:33**	17:28	7:07	**14:01**	25:24
21	4:48	**10:15**	18:53	7:54	**15:00**	28:31
20	5:22	**10:59**	20:34	8:41	**16:02**	*
19	5:57	**11:46**	22:44	9:29	**17:08**	*
18	6:32	**12:35**	26:20	10:17	**18:20**	*
17	7:09	**13:27**	*	11:07	**19:38**	*
16	7:45	**14:23**	*	11:59	**21:06**	*
15	8:23	**15:24**	*	12:52	**22:47**	*
14	9:03	**16:32**	*	13:47	**24:49**	*
13	9:43	**17:48**	*	14:45	**27:36**	*
12	10:26	**19:16**	*	15:47	*	*
11	11:10	**21:02**	*	16:52	*	*
10	11:57	**23:23**	*	18:02	*	*
9	12:47	*	*	19:19	*	*
8	13:40	*	*	20:44	*	*
7	14:37	*	*	22:21	*	*
6	15:40	*	*	24:18	*	*
5	16:49	*	*	26:50	*	*
4	18:08	*	*	*	*	*
3	19:39	*	*	*	*	*
2	21:32	*	*	*	*	*

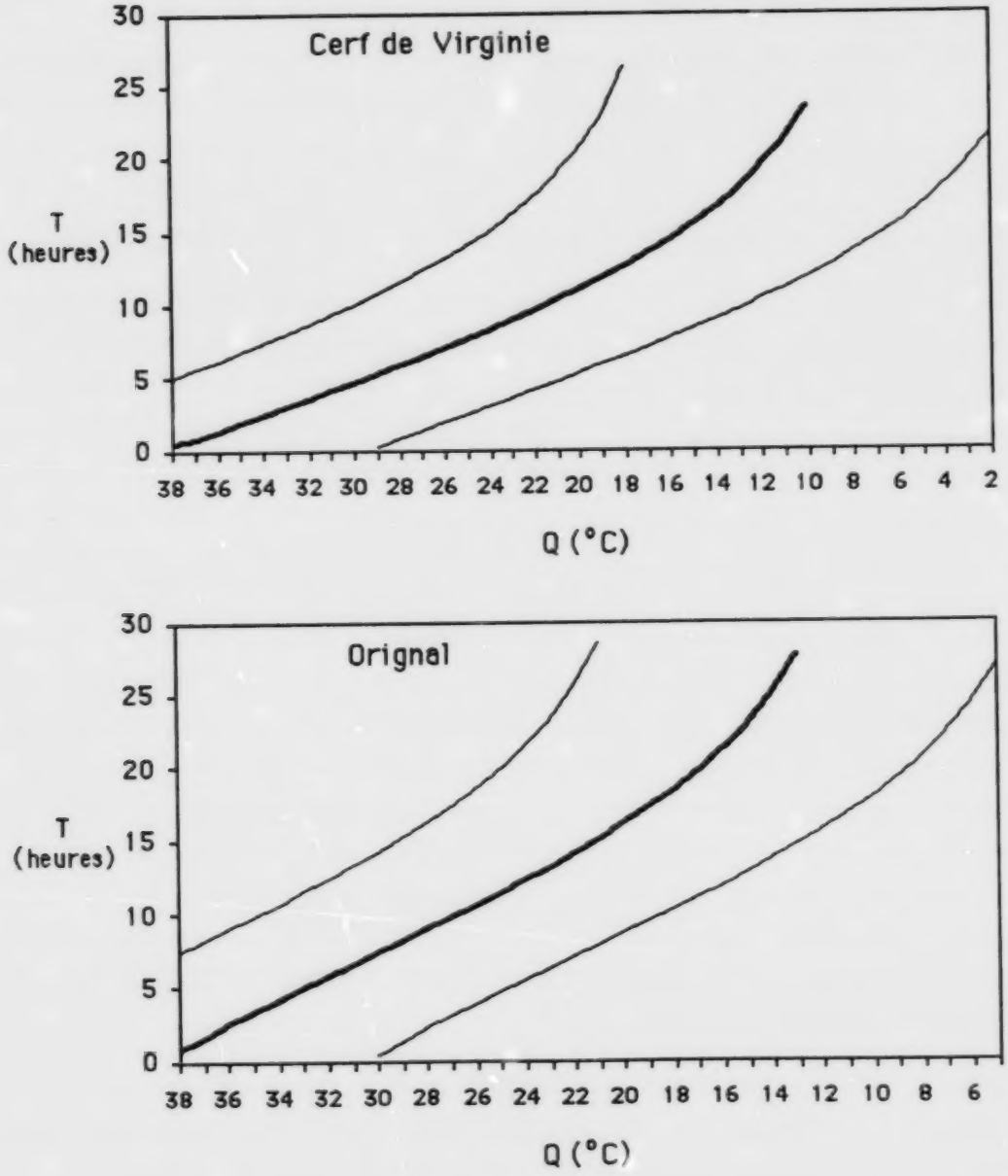

Figure 1. Valeur estimée (trait foncé) du temps écoulé depuis la mort (T), selon la température du quartier arrière (Q). Les courbes en trait fin donnent les limites de l'intervalle de confiance à 95%.

4. DISCUSSION

Pour chacune des deux espèces, le modèle présenté permet, à partir d'une mesure de la température du quartier arrière, de calculer le temps écoulé depuis la mort, les limites de l'intervalle de confiance entourant cette estimation et la probabilité de faire erreur en affirmant qu'un animal a été abattu avant ou après une heure donnée.

Le modèle qui permet ces calculs se rapproche de celui proposé par Kienzler et al. (1984), à cette différence près qu'il n'utilise pas la température ambiante comme seconde variable indépendante. La température de l'air affecte indéniablement le taux de refroidissement d'une carcasse. Théoriquement, on aurait pu obtenir un modèle et des estimations plus précis en tenant compte de cette variable. Dans la pratique, toutefois, il est très difficile d'obtenir des mesures de température ambiante représentatives de la situation réelle, pour chacune des bêtes abattues. Dans les territoires de chasse québécois, l'automne, les fluctuations quotidiennes de températures peuvent être très grandes et les situations particulières auxquelles une carcasse pourrait être exposée peuvent varier beaucoup. Des essais antérieurs pour intégrer la température ambiante à une description mathématique du refroidissement des carcasses ont été infructueux (Tremblay et al. 1986). On a donc choisi de mettre au point un modèle plus simple à utiliser, parce qu'il est basé sur la mesure d'une seule variable, la température du quartier arrière.

Pour employer judicieusement cet outil, il importe de connaître ses limitations. D'abord, on ne devrait utiliser cette technique que dans les cas où la température mesurée se situe entre 2 et 43.3 °C . A l'intérieur de ces limites, le recours à cette estimation du temps écoulé depuis la mort comme preuve unique d'un délit devrait dépendre de la probabilité de faire erreur. Par exemple, une température de 10 °C, mesurée sur un quartier d'orignal, ne permet pas de calculer à quand exactement remonte la mort. Mais, en consultant le

tableau 5 ou la figure 1, on sait qu'elle a eu lieu au moins 18 heures avant la prise de température; on pourra donc mettre en doute l'affirmation du chasseur qui prétendrait avoir abattu l'animal légalement alors que la chasse n'est ouverte que depuis 5 heures.

On peut s'attendre à ce que, dans plusieurs cas, l'heure de l'abattage calculée semble illégale mais que la méthode, à elle seule, ne permette pas d'atteindre un niveau de confiance suffisant. Dans ces cas, il serait souhaitable de disposer d'autres éléments de preuve, tels que des coups de feu entendus, pour étayer un dossier.

Enfin, il faut se rappeler que le modèle décrit le refroidissement normal d'une carcasse à l'air; il est évidemment nécessaire de tenir compte de conditions particulières, qui pourraient biaiser une estimation. Par exemple un séjour prolongé de la carcasse dans l'eau ou son exposition à une chaleur exceptionnelle pourraient affecter le rythme de son refroidissement.

En somme, la technique proposée offre une possibilité supplémentaire de prouver un délit. Cependant, pour être vraiment utile, elle demande à être utilisée en faisant preuve de jugement quant aux facteurs ou aux circonstances hors de l'ordinaire qui pourraient biaiser l'estimation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leur vive reconnaissance à l'endroit des nombreux agents de conservation de la faune et préposés à l'enregistrement du gros gibier qui ont permis la mise au point de cet outil en collaborant à la prise des données.

Plusieurs personnes ont par ailleurs activement contribué au développement de cette technique. A cet égard, les efforts consentis par Monique Boulet, Daniel St-Hilaire et Michel Sénécal doivent être soulignés d'un façon toute spéciale.

LISTE DES RÉFÉRENCES

BOULET, M., J. TREMBLAY et D. ST-HILAIRE.1983. Estimation du temps écoulé depuis la mort du Cerf de Virginie et de l'Orignal dans la région de l'Outaouais. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de l'Outaouais, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 31 p.

BRASSARD, C. 1979. Quelques données exploratoires en rapport avec l'estimation de l'heure de la mort chez l'Orignal dans la région du Nord-Ouest en 1979. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 13 p.

BRASSARD, C. 1981. Estimation de l'heure de la mort chez l'Orignal aux stations d'enregistrement du Nord-Ouest en 1980. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 33 p.

CLAVEAU, R. 1979. Estimé de l'heure de la mort chez l'Orignal. P. 59-65 In: Compte-rendu du cinquième atelier sur l'exploitation de l'Orignal tenu à Rimouski les 24, 25 et 26 août 1979. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la faune. 321 p.

COE, J.I. 1974. Post-mortem chemistry: practical considerations and a review of litterature. J. Forensic. Sci. 18: 12-32.

DAIGLE, G. 1989. Utilisation de la régression non-linéaire pour déterminer l'instant de la mort de l'Orignal et du Cerf de Virginie. Université Laval, Service de consultation statistique. 12 p.

DRAPER, N.R. et H. SMITH. 1981. Applied Regression Analysis. Wiley. New York.

GILL, J.D. et D.C. O'MEARA. 1965. Estimating time of death in white-tailed deer. J. Wildl. Manage. 29 (3): 471-486.

HUBER, P.J. 1981. Robust Statistics. Wiley. New York.

JOHNSON, B.C., L.A. MAGUIRE et D.R. ANDERSON. 1980. Determining time of death in mule deer by rising potassium levels in the vitreous humor. Wild. Soc. Bull. 8: 249-252.

KARNS, P.D. et K.D. KERR. 1980. Time of death estimation in moose. Proceedings of the Sixteenth North American Moose Workshop. 596 p.

KIENZLER, J.M., P.F. DAHM, W.A. FULLER et A.F. RITTER. 1984. Temperature-based estimation for the time of death in white-tailed deer. Biometrics 40: 849-854.

NETER, J., W. WASSERMAN et M.H. KUTNER. 1985. Applied Linear Statistical Methods. Irwin.

OATES, D.W., J.L. COGGIN, F.E. HARTMAN et G.I. HOILIEN. 1984. A guide to time of death in selected wildlife species. Nebraska Game and Park Commission. Nebraska Technical Series No. 14 : 72 p.

SELBY, S. 1967. Abridged Mathematical Tables.

TREMBLAY, J. 1982. Evaluation de la récolte illégale non enregistrée de Cerfs de Virginie dans l'Outaouais en 1980. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de l'Outaouais, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune.

TREMBLAY, J., M. SÉNÉCAL et R. CLAVEAU. 1986. Détermination du temps écoulé depuis la mort chez l'Orignal et le Cerf de Virginie à l'aide de la régression linéaire multiple. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 41 p.

VAN DEN OEVER, R. 1976. A review of the litterature as to the present possibilities and limitations in estimating the time of death. Med. Sci. Law 16: 269-276.

WOOLF, A. et C. GREMILLION-SMITH. 1983. Using vitreous humor to determine time of death: problems and a review. Wild. Soc. Bull. 11: 52-55.

WOOLF, A., J.L. ROSEBERRY et J. WILL. 1983. Estimating time of death of deer in Illinois. Wild. Soc. Bull. 11: 47-51.

Gouvernement du Québec
Ministère du Loisir,
de la Chasse et de la Pêche
**Direction de la gestion
des espèces et des habitats**

SP 1761-07-90